

半導体チップの精密組立技術および高速伝送実装技術に関する研究

著者	菊地 広
号	54
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4357号
URL	http://hdl.handle.net/10097/61994

氏 名 きくち ひろし 菊 地 広
授 与 学 位 博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日 平成22年 3月25日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 技術社会システム専攻
学 位 論 文 題 目 半導体チップの精密組立技術および高速伝送実装技術に関する研究
指 導 教 員 東北大学教授 須川 成利
論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 須川 成利 東北大学教授 伊藤 隆司
東北大学客員教授 大見 忠弘 東北大学准教授 寺本 章伸
(未来科学技術共同研究センター)

論 文 内 容 要 旨

高度情報化社会で使用する半導体の性能向上を図るには、半導体のパッケージの高性能化が必要である。

半導体パッケージの基本機能は、①多ピン化の対応、②高速信号伝送の対応、③放熱性の確保、④半導体チップの保護、⑤小型・軽量化 であり、センサ用パッケージにはさらに ⑥対象物に合わせた実装構造 が加わる。

本研究では、これらの基本機能を満たすことにより実現する「43Gbps 伝送対応半導体用パッケージの研究」と「センサチップの高精度実装技術」の研究を進め、各方面のシステムユーザに最適な実装方法を考案し、半導体の活用範囲拡大に貢献していくことを目的とした。

本論文は次の4章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、43Gbps 伝送対応半導体用パッケージ実現のために必要な要素技術ある「複数のはんだ接点を平坦化する技術」、「決められた寸法にはんだ付けをする技術」「放熱技術」と、センサチップの高精度実装技術を実現するために必要な要素技術ある「大型センサチップの高平坦度実装技術」をまとめた。

第2章の「複数のはんだ接点を平坦化する技術」では、はんだ材のメタライズに対する濡れ性、濡れ阻害性、セルフアライメントや、狭い隙間への毛細管現象等の特徴を使うことで、精密なはんだ付けと部品の形状制御が可能なることを実証した。具体的には、はんだバンプの高さを均一化する「バンプ転写工法」と、複数の部品相互の高さ及び傾きを高精度に制御する「平坦化治具」を発明し、試作品を用いてその効果を検証した。

「バンプ転写工法」の実現により、半導体チップ上の数百から数千のはんだバンプを、数 μm の精度にレベルングする事が可能となった。このことで、はんだバンプを用いたフリップチップ実装の品質を大きく改善した。

また、「平坦化治具」の発明により、複数のはんだ付け部品の傾きを0.5度以下に制御することが可能となった。この技術を活用する事により、複数の半導体チップを一つの大型の放熱板で冷却する際に、接着部の厚さを薄くする事が可能となり、結果として低熱抵抗での放熱が実現した。

第2章の「決められた寸法にはんだ付けをする技術」では、BGA ボールの潰れ防止用の「サポートボール構造」と、はんだ付け部のボイドレス化を達成する「はんだ注湯工法」を考案しその効果を確認した。

「サポートボール構造」の開発では、BGA 構造のボールに加える荷重とボール接続高さの関係を調査し、そのうえで、BGA ボールの適正な接続高さを達成するためのサポートボール高さを算出した。サポートボール構造の発明により、これまで不可能だった高荷重のパッケージにも、BGA 構造の採用が可能になった。

「はんだ注湯工法」は、メタライズを形成した狭ギャップにはんだを毛細管現象で流し込む方法で、ボイドレスのはんだ付けを達成する。この工法により、はんだ酸化膜を除去するための還元雰囲気やフラックス等を用いなくても、窒素雰囲気のリフローで高品質のはんだ付けを実現した。

また、第2章の「放熱技術」の研究では、複数の材料を貼り合わせた積層材の熱抵抗測定を、高い精度で実現できる熱抵抗測定装置を開発した。従来技術では、貼り合わせ材の熱抵抗を精密に測定する事は困難であった。本研究で発明した熱抵抗測定装置は、加熱軸と冷却軸間に被測定物を挟み込んで測定するが、加熱軸と冷却軸に埋め込んだ複数の熱伝対の温度勾配により熱抵抗を算出する。熱抵抗測定精度は、 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{W}$ を達成した。この熱抵抗測定装置を活用することにより、パッケージの放熱設計と検証が精度良く実施できるようになった。

さらに、第2章の「大型センサチップの高平坦度実装技術」の研究では、センサチップと基板を挟んだ反対面にセンサチップと同じ熱膨張率の裏打ち板を取付けることで、大型センサチップの反り量を $\pm 20\mu\text{m}$ 以下にできることを実証した。組立プロセスでは、センサチップと裏打ち板を基板の表裏に同時接着することで、完成品のチップ反りを小さく制御できる事を明らかにした。

第3章では、第2章に述べた要素技術を基に、「43Gbps 伝送対応半導体用パッケージの研究」と「イメージセンサチップの高精度実装技術」の具体的研究を進め、これを応用技術としてまとめた。

第3章の「43Gbps 伝送対応半導体用パッケージの研究」では、多ピン化と高速伝送対応の機能を両立する、「コネクタ付 BGA」を発明した。本構造を実現するためには、第2章に述べた要素技術（「複数のはんだ接点を平坦化する技術」「決められた寸法にはんだ付けをする技術」「放熱技術」）を活用した。

伝送線的设计では、パッケージ基板の高速伝送線は立体線路であるグランドコプレーナ線路、コネクタ部は立体線路である同軸線路とし、その接合部を平面線路であるコプレーナ線路とすることで、異なる形状を持つ伝送線路間の信号送受を実現した。また、発明構造を実際に試作し、伝送特性を試験した。その結果、43Gbps の信号伝送に十分な性能を持っていることを検証した。

一方、「43Gbps 対応コネクタ付 BGA」により、多ピン化と高速伝送の機能は達成したが、コネクタ部が高価である課題があった。その解決のため、コネクタに変えてフレキシブル基板を高速信号用の伝送部品とする「薄型伝送線リードを用いた 43Gbps 伝送対応半導体パッケージ」を発明した。伝送線的设计では、パッケージ基板の高速伝送線は立体線路であるグランドコプレーナ線路、薄型伝送線リードは立体線路であるグランドコプレーナ線路とし、その接合部を平面線路であるコプレーナ線路とすることで、位置関係の異なる立体伝送線路間の信号送受

を実現した。さらに、試作品により高速信号の伝送特性を検証した。

第3章の「センサチップの高精度実装技術」では、第2章の大型チップの高平坦度実装技術を応用することで、センサチップの反りを対象の機能に合わせて積極的に制御する技術の検討に発展させた。

カメラの光学系では、レンズを通った光がセンサチップ前面で像を結ぶが、像面は平坦ではなく、凹面となる(像面湾曲収差)。カメラのレンズは、この収差を補正するために複数のレンズを用いているが、センサ外周部で数十ミクロンの焦点ずれが残ると言われている。この解決のために、センサチップを像面湾曲方向の凹面に反らせることが有効である。チップを理想的な凹面に反らせる手段として、センサチップを同じ熱膨張率を持つ基板に貼り付け、さらにセンサチップ外周部に適切な塗布パターンで熱硬化型樹脂を塗布する事で、センサチップを凹面に23 μ m反らせることに成功した。センサチップを貼り付ける基板としては、熱膨張率がシリコンと同等で、機械的強度の強い窒化ケイ素基板を採用することが最適である事を明らかにした。

さらに第3章では、大型センサ実現のために必要な「センサチップのタイリング法」を検討した。具体的には、複数のセンサチップを水盤上にチップを浮かべ、表面張力の作用を使いながら非接触でチップを整列させる方法を考案。本工法を特許出願した。また、狭ギャップで整列したチップ間の結線を行う方法を研究し、チップ間の隙間に樹脂を表面張力で濡れ上がらせた後硬化させることで放物線形状の充填構造を作り、その上に配線を形成する事に成功した。さらに、試作品を温度サイクル試験に入れ、信頼性の確認を行った。

第4章では、本研究で得られた結論について述べる。

(1) 要素技術の研究成果として、複数のはんだバンプの高さを均一化して電極の接続品質を向上する「はんだバンプ転写工法」、BGA ボールの高さを制御することで重量の有るパッケージでも BGA 構造の採用を可能とした「サポートボール構造」、パッケージの熱抵抗を高精度に測定可能な「熱抵抗測定装置」、センサチップを高精度に実装する「両面同時接着プロセス」を考案。さらに、これらの技術の効果を試作品により確認した。

(2) 「43Gbps 伝送対応半導体用パッケージの研究」では、要素技術の成果を基に、高速伝送対応と多ピン化を両立する「コネクタ付 BGA」を発明。試作品で 43Gbps の伝送が可能な事を検証した。さらに、パッケージの小型軽量化と低価格化を進めた「薄型伝送線リード付 BGA」を考案。試作品で高速信号の伝送特性を検証した。

(3) 「センサチップの高精度実装技術の研究」では、要素技術の成果を基に、「センサチップの反りをレンズの像面湾曲方向に制御する実装構造」を考案した。さらに、試作品により凹面反り形状を検証した。この技術により、シンプルな光学系で、レンズの像面湾曲による焦点ずれを最小に抑えることが可能となる。

本研究は、従来の半導体パッケージ技術を要素技術としながらも、新たな発想を加える事で、システムの高性能化に寄与する半導体実装技術実現に取り組んだ。今後、人工的なシステム相互の情報送受に加えて、自然環境や人間(生体)を対象とした半導体の活用が増えていくと予想される。このような使用環境に必要とされるカスタム実装分野においても、本研究は活用可能である。今後、本研究成果を応用することで、半導体の活用範囲を拡大していくことが可能と考える。

論文審査結果の要旨

高度情報化社会で使用する半導体の性能向上を図るには、半導体チップの高性能化のみならず半導体パッケージの高性能化・高機能化も不可欠である。半導体パッケージの高性能化・高機能化を図るには、パッケージの基本機能である多ピン化、高速信号伝送対応、放熱性の確保、半導体チップの保護、小型・軽量化、対象物に合わせた実装構造を実現することが必要となる。しかし、従来の実装技術にはこれらの要素技術をすべて両立できるパッケージ技術が存在しなかった。本論文は、こうした状況に鑑み、これらの要素技術を研究し、その成果をもとに 43Gbps 伝送対応半導体用パッケージとイメージセンサチップ高精度実装に応用した成果をまとめたものであり、全文 4 章からなる。

第 1 章は、序論である。

第 2 章では、高速信号伝送用半導体パッケージを実現するための要素技術として新たに研究した、はんだバンプの高さを揃えて転写する複数のはんだ接点を平坦化する技術、パッケージ角 4 点に高融点のサポートボールを設置し決められた寸法にはんだ付けをする技術、高熱伝導接着樹脂中のボイドを低減して熱抵抗を減少させる放熱技術について論じている。さらに、大型チップの高精度実装を実現するための要素技術として、両面同時接着方式による大型チップの高平坦度実装技術について論じ、大型チップの反り量を $\pm 20 \mu\text{m}$ 以下に制御できることを実証している。これらは、極めて重要な成果である。

第 3 章では、第 2 章の要素技術をもとに 43Gbps 伝送対応半導体用パッケージとイメージセンサチップの高精度実装技術へ応用した成果について述べている。43Gbps 伝送対応半導体用パッケージ技術においては、多ピン化と高速伝送対応の機能を両立するコネクタ付ボールグリッドアレイ (BGA) について、また、さらに小型軽量化と低価格化を進めるため薄型伝送線リード付 BGA について新たに提案し、試作品により高速信号の伝送特性を実証している。イメージセンサチップの高精度実装技術においては、レンズの像面湾曲収差を解消するためのセンサチップの反りを制御する技術について提案している。イメージセンサチップを同じ熱膨張率を持つ窒化ケイ素基板に貼り付け、さらにチップ外周部に適切な形状に設計した熱硬化型樹脂を配置することで、イメージセンサチップをレンズの像面湾曲に倣った凹面に、同心円状に $23 \mu\text{m}$ 反らせることに成功している。今後、人工的なシステム相互の情報送受に加えて、自然環境や人間(生体)を対象とした半導体の活用が増えていくと予想されるが、このような使用環境に必要とされるカスタム実装分野においても、本研究は活用可能である。

第 4 章は、結論である。

以上要するに本論文は、半導体パッケージの高性能化・高機能化を実現する要素技術を研究し、その成果をもとに 43Gbps 伝送対応半導体用パッケージとイメージセンサチップ高精度実装に応用した成果をまとめたものであり、半導体電子工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。